

ПРИРОДА ЭНСТАТИТОВОЙ КАЙМЫ В ТУГОПЛАВКИХ БОГАТЫХ ФОРСТЕРИТОМ ВКЛЮЧЕНИЯХ: ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ EBSD

Дугушкина К.А., Берзин С.В., Замятин Д.А.

Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, dugushkina.kseniya@mail.ru

Тугоплавкие богатые форстеритом включения (refractory forsterite-rich inclusions) найдены в неравно-весных углистых [Reid et al., 1970; Fuchs et al., 1973; Steele, 1989, и др.], обыкновенных [Steele, 1986, и др.], и R-хондритах [Pack et al., 2004, и др.]. Данные включения присутствуют как внутри хондр, так и в виде обособленных зерен размером 5-500 мкм в матрице хондритов. Для форстерита из тугоплавких включений характерна низкая железистость (Fa 0.2-2.0), обогащение тугоплавкими литофильными элементами (RLE), в частности CaO 0.5-1.0 %, Al_2O_3 до 0.3 %, и при этом резкий дефицит MnO [Pack et al., 2004, и др.]. Тугоплавкие богатые форстеритом включения являются общим компонентом для разных классов хондритов. Согласно общепринятым представлениям, богатые форстеритом включения относятся к одним из первых минеральных образований Солнечной системы наряду с богатыми кальцием и алюминием включениями (CAIs) и амебоидальными оливиновыми агрегатами (AOAs). При этом богатые форстеритом включения в отличие от других тугоплавких включений (CAIs и AOAs) характеризуются наименьшей изученностью. Согласно наиболее распространенным представлениям, формирование богатых форстеритом включений происходило путем непосредственной конденсации из небулярного газа [Steele, 1986; Olsen, Grossman, 1978, и др.], либо путем кристаллизации в каплях расплава, обогащенного RLE, (протохондрах, хондрах начальной генерации) с дальнейшим разрушением последних и высвобождением тугоплавкого форстерита [McSween, 1977; Roedder, 1981; Pack et al., 2004, 2005, и др.], после чего зерна тугоплавкого форстерита оказались в образовавшихся позднее хондрах и в матрице хондритов.

В некоторых тугоплавких богатых форстеритом включениях наблюдается кайма, состоящая из энстатита мощностью 20-100 мкм. В литературных источниках она традиционно называется реакционной, хотя специального изучения ее не проводилось. Теоретически возможны два пути ее формирования: обрастание форстерита новообразованным энстатитом или замещение форстерита энстатитом по периметру. В первом случае на поверхности изначальных зерен форстерита, очевидно, должна наблюдаться зона геометрического отбора индивидов энстатита, направленная в сторону внешней границы. Во втором случае кайма

будет сложена одним или несколькими индивидами энстатита, а геометрический отбор если и будет, то по направлению в сторону центра зерна форстерита. Целью работы является установление природы данной энстатитовой каймы. Представляется, что локальное исследование ориентации кристаллической решетки форстерита и энстатитовой каймы, а также их взаимной ориентации, позволят получить информацию о посткристаллизационных воздействиях на форстерит и установить генезис энстатитовой каймы.

Локальное изучение ориентации кристаллических решеток проводилось методом дифракции отраженных электронов (EBSD) на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6390LV, оснащенном энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 450 X-Max80 и EBSD-приставкой NordlysNano Oxford Instruments, в ЦКП «Геоаналитик», ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург. Анализ минерального фазового состава в выбранном участке выполнялся по элементным картам в программе Aztec v3.1. Регистрация ориентационных карт производилась при расположении образца под углом 70° к пучку электронов; обработка и построение ориентационных карт – в программе CHENNEL5.

Для исследования было выбрано крупное богатое форстеритом включение размером 1 мм в метеорите NWA 11781 (CM2) [Дугушкина, Берзин, 2018] (рис. 1, а). Центральная часть сложена несколькими сросшимися индивидами форстерита, по периферии наблюдается значительная ярко выраженная энстатитовая кайма. В отличие от других аналогичных включений, в нем наблюдается небольшое количество плагиоклазового стекла и клинопироксена, заполняющего мезостази́с между зернами форстерита в краевой части включения. Во включение присутствуют зерна металла, которые заместились гидроксидами железа. Для EBSD картирования был выбран участок на границе срастания двух зерен форстерита, окруженных энстатитовой каймой.

В результате картирования установлено, что каждое из двух зерен тугоплавкого форстерита обрастает отдельным цельным зерном энстатита (рис. 1, б). Вдоль каймы наблюдается изогнутость индивидов энстатита и их разориентировка до 40° . На наш взгляд это свидетельствует в пользу образования энстатитовой

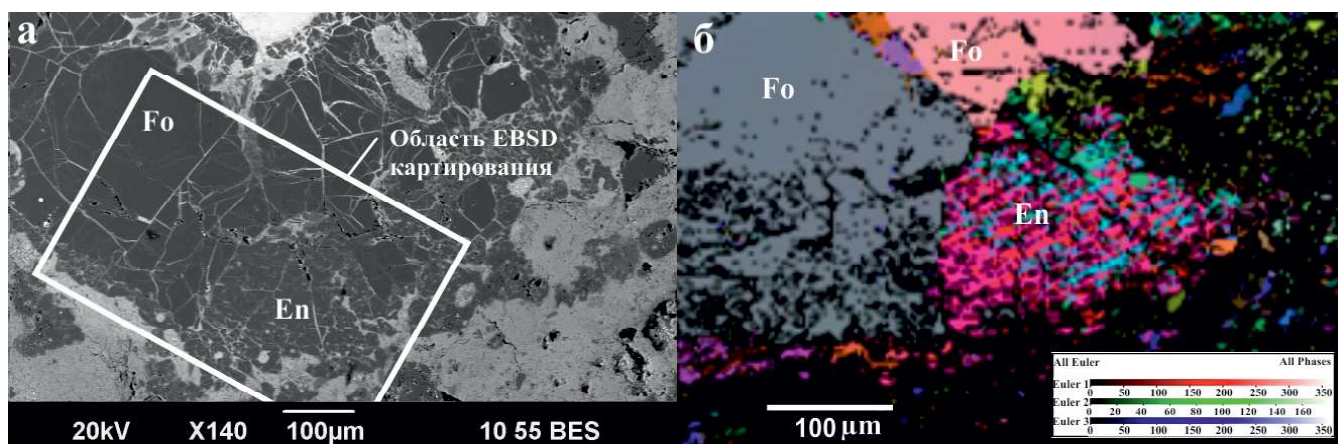


Рис. 1. Тугоплавкое богатое форстеритом включение из метеорита Northwest Africa 11781. а – изображение в обратно рассеянных электронах (BSE), б – карта ориентировок минералов, построенная по дифракции отраженных электронов, цвета Эйлера

каймы путем псевдоморфного замещения форстерита в результате реакционного взаимодействия с внешней средой. При этом не исключено, что наблюдаемое строение энстатитовой каймы связано с ударными воздействиями. Однако для более надежного подтверждения данной гипотезы потребуется данные по другим аналогичным включениям.

Вторым результатом картирования EBSD стало то, что кайма практически целиком сложена моноклинной разновидностью энстатита (клиноэнстатитом). В центральной части рисунка наблюдается полисинтетическое двойникование, отчетливо видное на карте в цветах Эйлера (рис. 1, б).

Присутствие и строение энстатитовой каймы свидетельствует о существовании этапа реакционного взаимодействия с внешней средой в истории богатых форстеритом включений после кристаллизации форстерита, вероятно во время нахождения их в протосолнечной небуле. Причем реакционному взаимодействию подверглась только часть зерен тугоплавкого форстерита. После чего богатые форстеритом включения, подвергавшиеся и не подвергавшиеся реакционному взаимодействию, оказались в одном образце углистого хондрита.

Представленные данные являются первыми результатами EBSD картирования богатых форстеритом включений. Планируется продолжение работ в выбранном направлении.

Все аналитические исследования выполнены в ЦКП «Геоаналитик». Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-05-00297 и темы № АААА-А18-118053090045-8 государственного задания ИГГ УрО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дугушкина К.А., Берзин С.В. Новый углистый хондрит из Северо-Западной Африки // Материалы IX Всероссийской молодежной научной конференции «Минералы: строение, свойства, методы исследования». Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2018. С. 24-25.
2. Fuchs L.H., Olsen E., Jensen K.J. Mineralogy, mineral-chemistry and composition of the Murchison (C2) meteorite // Smith. Contrib. Earth Sci. 1973. Vol. 10. P. 1–39.
3. McSween H.Y.Jr. On the nature and origin of isolated olivine grains in carbonaceous chondrites // Geochim. Cosmochim. Acta. 1977. Vol. 41. P. 411–418.
4. Olsen E. and Grossman L. On the origin of isolated olivine grains in Type 3 carbonaceous chondrites // Earth Planet. Sci. Lett. 1978. Vol. 41. P. 111–127.
5. Pack A., Palme H., Shelley J.M.G. Origin of chondritic forsterite grains // Geochimica et Cosmochimica Acta, 2005. Vol. 69. P. 3159–3182.
6. Pack A., Yurimoto H., Palme H. Petrographic and oxygen-isotopic study of refractory forsterites from R-chondrite Dar al Gani 013 (R3.5-6), unequilibrated ordinary and carbonaceous chondrites // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2004. Vol. 68, № 5. P. 1135–1157.
7. Reid A.M., Bass M.N., Fujita H., Kerridge J.F., Frederiksson K. Olivine and pyroxene in the Orgueil meteorite // Geochim. Cosmochim. Acta. 1970. Vol. 34. P. 1253–1255.
8. Roedder E. Significance of Ca-Al-rich silicate melt inclusions in olivine crystals from the Murchison type II carbonaceous chondrite // Bull. Mineral. 1981. Vol. 104. P. 339–353.
9. Steele I.M. Compositions and textures of relic forsterite in carbonaceous and unequilibrated ordinary chondrites // Geochimica et Cosmochimica Acta, 1986. Vol. 50. P. 1379–1395.
10. Steele I.M. Compositions of isolated forsterites in Ornans (CO3) // Geochim. Cosmochim. Acta 1989. Vol. 53. P. 2069–2079.